

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ПОЧВЕННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
И ВОДНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО  
ПОД ЯБЛОНЕВЫМ САДОМ ОПХ «ГОРНО-АЛТАЙСКОЕ»**

**PHYSICAL PROPERTIES, SOIL-HYDROLOGICAL INDICES AND WATER REGIME  
OF LEACHED CHERNOZEM UNDER APPLE ORCHARD  
ON THE EXPERIMENTAL PRODUCTION FARM OPKH GORNO-ALTAYSKOE**

**Ключевые слова:** гидрология почв, HYDRUS-1D, ОГХ, педотрансферные функции, дефицит влаги, профили влажности почвы, потоки влаги.

**Keywords:** soil hydrology, HYDRUS-1D software, water retention curve (WRC), pedotransfer functions, moisture deficiency, soil moisture profiles, moisture flows.

Проанализированы водно-физические свойства, почвенно-гидрологические параметры и процесс движения влаги в черноземе выщелоченном под яблоневым садом опытной станции «Горно-Алтайское» в условиях почвенно-мелиоративного (заливочного) эксперимента. Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом, гранулометрический состав почв – пипеточным методом по Н.А. Качинскому, плотность сложения почвы – методом режущего кольца, плотность твердой фазы – пикнометрически. Для восстановления основной гидрофизической характеристики (ОГХ) почвы использовалась функция Ван-Генухтена, параметры аппроксимации ОГХ были получены с помощью педотрансферных функций Rosetta Lite 1.1 с использованием данных о плотности и гранулометрическом составе (приведенных методом графической интерполяции к международной классификации FAO). Установлено, что верхние хорошо структурированные пылевато-глинистые горизонты чернозема под яблоневым садом обладают большей водоудерживающей способностью, тогда как ОГХ более легкого по гранулометрическому составу В2к горизонта существенно сдвинута в сторону меньшей влажности. Коэффициенты фильтрации в черноземе выщелоченном под яблоневым садом ОПХ «Горно-Алтайское» изменялись от 30,5 см/сут. в Ад до 6 см/сут. в В3к. Выполнен расчет дефицита влаги в почве в период жаркой и сухой погоды июня 2023 г. (14 мм в верхней 20-сантиметровой толще). В программе HYDRUS-1D выполнено моделирование движения влаги в почвенных горизонтах после обильных осадков. Показано, что быстрому нисходящему проникновению влаги в почву препятствует наличие глинистых слоев, отсутствие должного градиента давления. Существенное влияние на распределение воды в черноземе выщелоченном под яблоневым садом в засушливый период оказывают восходящие потоки влаги. Наименьшие расхождения вычисленных и измеренных значений влажности модель демонстрирует через сутки после начала проведения эксперимента. Отладка модели по экспериментальным данным позволяет использовать ее для прогнозирования дальнейших процессов распределения влаги в почве.

The water-physical properties, soil-hydrological parameters and the process of moisture movement in the leached chernozem under the apple orchard on the experimental production farm OPKh Gorno-Altayskoe under the conditions of a soil-reclamation (flooding) experiment were studied. Soil moisture was determined by the thermostatic-weight method; soil particle-size composition was determined by the pipette method according to N.A. Kachinskiy; soil density was determined by the cutting-ring method; the density of the solid phase was determined by pycnometry. The Van Genuchten function was used to restore the basic hydrophysical characteristics (WRC) of the soil; the parameters of WRC approximation were obtained using the pedotransfer functions "Rosetta Lite" using data on density and particle-size composition (the values were translated to the FAO international classification by the method of graphical interpolation). It was found that the upper well-structured A horizons of chernozem under the apple orchard had a greater water retention capacity, whereas the WRC of the B2c horizon which was the lightest in terms of granulometric composition, was significantly shifted towards lower moisture. Filtration coefficients in the leached chernozem under the apple orchard varied from 30.5 cm per day in Ad horizon and to 6 cm per day in the lower horizon. The moisture deficit in the soil during the hot and dry weather of June 2023 was 14 mm in the upper 20 cm of soil depth. The HYDRUS-1D software simulated the changes of moisture storage in soil horizons after precipitation. It is shown that the rapid downward penetration of moisture into the lower horizons is prevented by the clay layers and the absence of a proper pressure gradient. The upward moisture flows have a significant effect on the distribution of water in the leached chernozem under the apple orchard during the dry period. The model shows the smallest discrepancies between the calculated and measured moisture values a day after the start of the experiment. The model adjustment based the experimental data enables its use to predict further processes of moisture distribution in the soil.

**Бабошкина Светлана Вадимовна**, к.б.н., ст. науч. сотр., Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: svetlana@iwer.ru, arsenida@rambler.ru.

**Пузанов Александр Васильевич**, д.б.н., профессор, заместитель директора, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: puzanov@iwer.ru.

**Рождественская Тамара Анатольевна**, к.б.н., ст. науч. сотр., Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: rtamara@iwer.ru.

**Ельчинова Ольга Анатольевна**, д.с.-х.н., директор, Горно-Алтайский филиал, Институт водных и экологических проблем СО РАН, с. Кызыл-Озек, Республика Алтай, Российская Федерация, e-mail: eoa59@mail.ru.

**Baboshkina Svetlana Vadimovna**, Cand. Bio. Sci., Senior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russian Federation, e-mail: svetlana@iwer.ru, arsenida@rambler.ru.

**Puzanov Aleksandr Vasilevich**, Dr. Bio. Sci., Prof., Deputy Director, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russian Federation, e-mail: puzanov@iwer.ru.

**Rozhdestvenskaya Tamara Anatolevna**, Cand. Bio. Sci., Senior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russian Federation, e-mail: rtamara@iwer.ru.

**Elchininova Olga Anatolevna**, Dr. Agr. Sci., Director, Gorno-Altayskiy Branch, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kyzyl-Ozek, Republic of Altai, Russian Federation, e-mail: eoa59@mail.ru.

### Введение

Влага в почве – основной фактор всех происходящих в ней процессов. Основа для расчетов состояния и переноса влаги в ненасыщенных влагой почвах появилась после модификации Л.А. Ричардсом уравнения А. Дарси, описывающего движение влаги в насыщенных пористых средах. В российской физике почв подход с использованием дифференциального уравнения переноса влаги в условиях vadозной зоны стал распространяться в конце 80-х годов прошлого столетия благодаря работам А.М. Глобуса [1], и гидрофизика почв стала центральной концепцией количественной почвенной гидрологии.

Вертикальное движение влаги в ненасыщенных влагой почвах характеризуется функцией влагопроводности – зависимостью между коэффициентом влагопроводности ( $K_{вл}$ ) и капиллярно-сорбционным давлением влаги в почве ( $P_{к-с}$ ) [2]. В свою очередь, зависимость между  $P_{к-с}$  и влажностью описывается главной количественной характеристикой влагоудерживающей способности почв – ее основной гидрофизической характеристикой (ОГХ) [1, 2], отражающей практически все основные особенности состава и структуры почвенного горизонта. В современной количественной гидрологии почв для расчета переноса влаги (и веществ) в почве на основе ОГХ принято использовать прогнозные математические модели, например, удобную и доступную программу HYDRUS-1D, представляющую собой физически обоснованную модель влаго-, тепло-, солепереноса. ОГХ, аппроксимированная уравнением Ван-Генухтена. Коэффициент фильтрации является ее основным экспериментальным обеспечением.

**Цель** исследования: анализ физических свойств, определяющих особенности водного режима почвы, и моделирование процесса движения влаги в черноземе выщелоченном под яблоневым садом ОПХ «Горно-Алтайское» (Северный Алтай).

### Объекты и методы исследования

Алтай обладает богатыми, главное, в значительной степени уникальными природными условиями для развития горного садоводства. Сегодня садовые хозяйства Горного Алтая с успехом выращивают плоды, ягоды и устойчивый к суровым природным условиям горной страны посадочный материал. Объектом нашего исследования была выбрана почва под яблоневым садом, заложенным в 2011 г. на территории опытной станции «Горно-Алтайское» (филиал ФНБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий») – агрочернозем выщелоченный среднемогучий среднегумусный суглинистый, подтаежного эрозионно-денудационного ландшафта Северного Алтая, на карбонатных глинисто-щебнистых делювиально-пролювиальных отложениях. Рассматриваемый агроландшафт расположен на высокой левобережной террасе р. Катунь, на склоне юго-восточной экспозиции на высоте 418 м над ур. м. (N 51°56'30". E 085°59'48,6"). Почвенный разрез (рис. 1) был заложен на топографически однородном участке во вспаханном 4 года назад междурядье шириной 5,5 м в яблоневых насаждениях, в которых в качестве засорителя встречается клен и другие типичные представители осиново-березово-сосновых разреженных лесов низкогорий Алтая. Проективное покрытие травянистого яруса составляет не более 50%, видовой состав фитоценоза в целом соответствует составу типичных в данных природно-климатических условиях злаково-разнотравных полидоминантных лугов (еланей).

Верхние горизонты изученной нами почвы под яблоневым садом имеют неоднородную темно-серую до бурой окраску (особенно горизонт АВ, из-за затеков гумуса), хорошо оструктурены. Исследования проводились в середине июня 2023 г., в период сильной жары, сопровождавшейся в некоторых районах Алтая интенсивным таянием ледников, подъемом уровня воды в реках,

подтоплением. В ходе исследования был проведен почвенно-мелиоративный («заливочный») эксперимент, при котором почва проливалась водой в количестве, эквивалентном выпадению 20 мм осадков. В рассматриваемом случае горизонтальное передвижение влаги считалось малым в сравнении с вертикальным.



**Рис. 1. Фото почвенного разреза чернозема выщелоченного под яблоневым садом опытной станции «Горно-Алтайское»**

Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом (ГОСТ 5180-84), гранулометрический состав почв – пипеточным методом по Н.А. Качинскому, плотность сложения почвы – методом режущего кольца, плотность твердой фазы – пикнометрически, общую пористость рассчитывали через соотношение плотности сложения почвы и плотности ее твердой фазы [3]. Значения плотности почвенных горизонтов использовались те, что были получены при влажности, соответствующей «физической спелости почвы» – от 23 до 25%.

Расчет и моделирование процессов влагопереноса в почве с учетом ее физико-химических свойств были выполнены с использованием программы HYDRUS-1D (авторы: J.Simunek, M.Th. VanGenuchten, M. Seina, адрес: www.hydrus2d.com, свободный доступ) [4]. При расчете параметров аппроксимации ОГХ функцией Ван-Генухтена по педотрансферным функциям Rosetta Lite 1.1 программа

подразумевает использование данных гранулометрического состава по международной классификации FAO, границы фракций которой не совпадают с границами фракций отечественной классификации. Переход от отечественной классификации к зарубежной выполнялся методом графической интерполяции: для каждого горизонта в равномерно-логарифмическом масштабе шкалы была построена интегральная (кумулятивная) кривая гранулометрического состава [5], по которой находилось содержание частиц диаметров по классификации FAO: <0,002 мм – глина, 0,002-0,05 мм – пыль, >0,05 мм – песок.

Общие запасы влаги в почве (в мм) определяли по формуле:

$$ЗВ=W(\%)*\rho*N(\text{см})*0,1,$$

где W – влажность, %;

$\rho$  – плотность;

N – мощность почвенного слоя;

0,1 – поправочный коэффициент пересчета.

Дефицит влаги устанавливали как разницу между содержанием влаги в данный момент и показателем наименьшей влагоемкости почвы (НВ), соответствующей давлению -330 см водн. ст.

### Результаты исследования и обсуждение

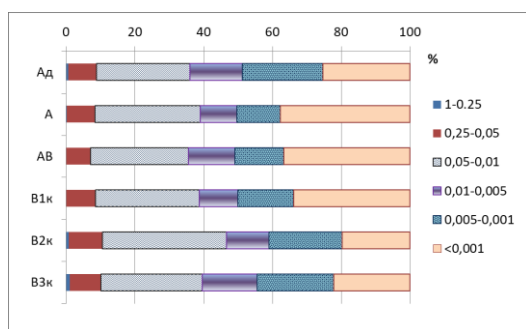
Содержание гумуса в почве под яблоневым садом опытной станции «Горно-Алтайское» достигает 4,4% в верхнем горизонте Ад, плавно снижаясь с глубиной. рН верхних горизонтов варьирует от 5,3 до 5,5, реакция среды нижних окарбонатенных слоев щелочная, рН=8,3. Общая пористость верхних горизонтов с выраженной комковатой структурой заметно выше пористости нижних плотных и бесструктурных карбонатных горизонтов В (табл. 1).

Изученная нами почва яблоневого сада опытной станции «Горно-Алтайское» является легкоглинистой по гранулометрическому составу (по отечественной классификации), в ней хорошо заметна смена почвенно-гранулометрических слоев (рис. 2): в А, АВ и В1к горизонтах выражено накопление илистой фракции, при низком содержании мелкого песка, тогда как в горизонте В2к преобладает фракция крупной пыли (0,05-0,01 мм), а доля илистой фракции снижена.

**Таблица 1**

**Физические и химические свойства агрочернозема под яблоневым садом опытной станции «Горно-Алтайское»**

Горизонт	Содержание гранулометрических фракций, %						Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	Порозность, %	Содержание гумуса, %	рН
	по Н.А. Качинскому		по классификации FAO							
	ил	физическая глина	Clay	Silt	Sand	название				
Ад	25,3	64,0	33,5	57,7	8,8	Silty clay loam	1,18	52,0	4,4	5,3
А	37,6	60,9	40,5	51,5	8,0	Silty clay	1,20	53,6	2,5	5,4
АВ	36,8	64,4	40,5	52,0	7,5	Silty clay	1,21	52,5	1,4	5,5
В1к	33,8	61,4	39,7	52,0	8,3	Silty clay	1,36	44,8	0,7	6,1
В2к	19,7	53,3	27	62,5	10,5	Silt loam	1,51	44,9	0,3	8,3
В3к	22,2	60,5	29,0	60,8	10,2	Silt loam	1,29	48,7	0,5	8,3



**Рис. 2. Диаграмма распределения гранулометрических фракций (по Н.А. Качинскому) с глубиной в профиле чернозема выщелоченного под яблоневым садом опытной станции «Горно-Алтайское»**

Неравномерность профильного распределения гранулометрических элементов играет заметную роль в водном режиме почв: различные по гранулометрическому составу почвенные горизонты могут формировать гидрологические экраны [6], создавать в профиле почвы застойные гидрологические условия, сказываясь на особенностях вертикального движения влаги в почве.

Приведенные методом графической интерполяции к зарубежной классификации данные гранулометрического состава (табл. 1) использовались при работе в программе HYDRUS-1D и RETC 6.02 для получения по педотрансферным функциям Rosetta Lite v.1.1 параметров аппроксимации ОГХ функцией Ван-Генухтена:

$$\theta(P) = \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha P)^n)^m} + \theta_r,$$

где  $m = 1 - 1/n$ ;

$\theta$  – влажность, соответствующая определенному давлению почвенной влаги  $P$ ;

$\theta_s$  – влажность, близкая к влажности насыщения;

$\theta_r$  – остаточная влажность;

$\alpha$  – величина, обратная величине капиллярно-сорбционного давления, приближающегося к давлению входа воздуха;

$n$  – коэффициент, определяющий крутизну кривой [1, 4, 7].

Расчетные величины полной влагоемкости  $\theta_s$  (табл. 2) практически для всех горизонтов (кроме В2к) совпали со значениями полной влагоемкости как почвенно-гидрологической константы по энергетической концепции Воронина [9], когда

$$\epsilon = pF = 0,$$

где  $\epsilon$  – пористость почв (табл. 1).

Параметр  $\alpha$ , обратно пропорциональный давлению барботирования, и величина остаточной влажности  $\theta_r$  минимальны в плотных и бесструктурных, но более легких по гранулометрическому составу В2к и В3к горизонтах. Параметр  $n$ , определяющий угол наклона кривой ОГХ, максимален для горизонтов более легкого гранулометрического состава. Полученные коэффициенты фильтрации (Кф) для чернозема выщелоченного, в целом, укладываются в диапазон средних значений Кф для глинистых и тяжелосуглинистых почв [2].

**Таблица 2**

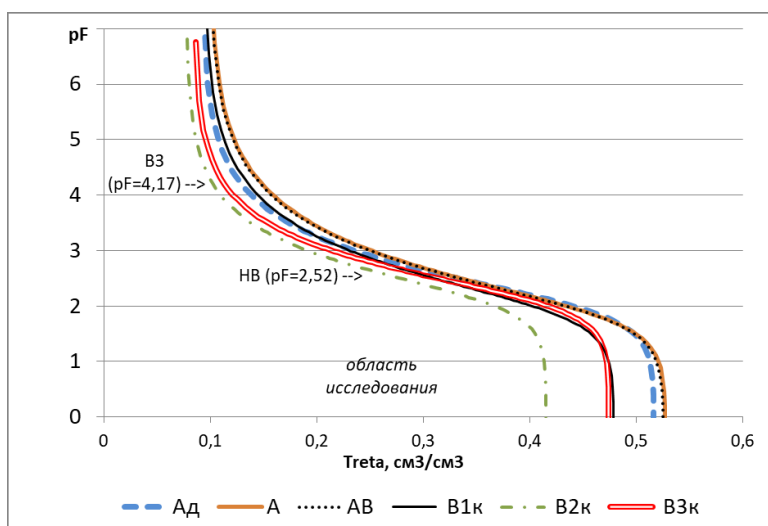
**Гидрофизические свойства чернозема выщелоченного под яблоневым садом: параметры аппроксимации ОГХ функцией Ван-Генухтена и коэффициенты фильтрации, полученные с помощью педотрансферных функций Rosetta Lite**

Горизонт (глубина, см)	$\theta_s, \text{см}^3/\text{см}^3$	$\theta_r, \text{см}^3/\text{см}^3$	$n$	$\alpha$	Кф, см/сут.
Ад (0-7)	0,516	0,0929	1,4989	0,0087	30,5
А (8-20)	0,527	0,0989	1,4218	0,0122	25,8
АВ (21-40)	0,524	0,0988	1,4227	0,0119	24,2
В1к (41-60)	0,479	0,0944	1,4361	0,0106	10,5
В2к (61-90)	0,415	0,0776	1,559	0,0068	6,64
В3к (91-130)	0,474	0,0855	1,5632	0,0069	19,17

Из рисунка 3 видно, что верхние хорошо структурированные Ад, А, АВ горизонты чернозема под яблоневым садом в области, близкой к насыщению почвы влагой ( $pF$  от 0 до 2,17), обладают большей водоудерживающей способностью, их ОГХ сдвинуты вправо и в целом более выположены. Кривая водоудержания наиболее легкого по гранулометрическому составу горизонта В2к существенно сдвинута в сторону меньшей влажности. В областях пленочной влажности ( $pF$  от 3,5) наибольшая (по сравнению с другими слоями) водоудерживающая способность пылевато-глинистых горизонтов А и АВ объясняется большим количеством в них мелких пор.

Разные по гранулометрическому составу почвенные слои при одном уровне влагосодержания могут

существенно различаться по степени подвижности влаги и ее доступности для растений. Например, при влажности  $0,15 \text{ см}^3/\text{см}^3$  в более легких по гранулометрическому составу почвенных горизонтов В2к и В3к влага при давлении около -3000 см водн. ст. будет доступна растениям, в частности, корням древесных яблоневых культур, проникающих в возрасте от 10 лет на глубину 70 см и ниже [8]. Но в глинистых А, АВ, Вк1 горизонтах почвы такой уровень содержания влаги уже соответствует константе влажности завядания (ВЗ) при капиллярно-сорбционном давлении влаги – 15000 см водн. ст. (или  $pF=4,17$ ), когда растения будут испытывать ее недостаток.



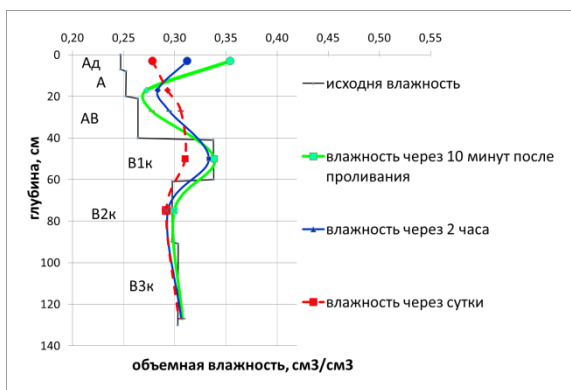
**Рис. 3. Основные гидрофизические характеристики горизонтов почвы под яблоневым садом опытной станции «Горно-Алтайское» и характерные точки на кривых ОГХ: ВЗ – влажность завядания, НВ – наименьшая влагоемкость**

Расчеты показали, что дефицит влаги в середине июня 2023 г. в черноземе выщелоченном под яблоневыми насаждениями опытной станции «Горно-Алтайское» отмечается только в верхних горизонтах: 5,5 мм – в Ад, 9,4 мм – в А, 12,3 мм – в АВ. Уровень содержания влаги в горизонтах В1к и В2к на начало эксперимента превышал НВ, поэтому на глубине 40-90 см, где сосредоточена основная масса корней яблонь, влажность достаточная. Для сравнения, в почве яблоневого сада НИИСС им. Лисавенко к середине июня дефицит влаги в пахотном горизонте достигал 37 мм [8], а в июле после дождей сократился до 4,5 мм, что позволило исключить полив. При дефиците влаги в почвенном 20-сантиметровом слое чернозема выщелоченного под яблоневым садом опытной станции «Горно-Алтайское» 14 мм влагосодержание на момент начала эксперимента можно признать удовлетворительным.

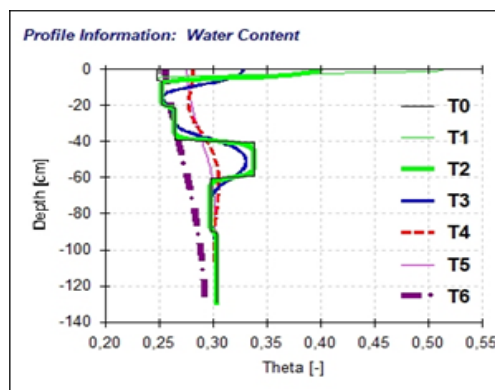
На рисунке 4 приведены результаты послойного изменения содержания влаги во время проведения почвенно-мелиоративного эксперимента. Согласно

профилям распределения влаги в реальных условиях (рис. 4а) через 10 мин. после дождевания влажность Ад, А и АВ горизонтов уже становится выше, чем исходная. По результатам моделирования сразу после дождевания практически вся влага задерживается в верхнем горизонте, увлажняя его до 0,4 см³/см³ (светлая толстая линия Т2 (рис. 4б)). Нисходящему оттоку влаги препятствует низкое давление в А горизонте (-978 см водн. ст.): влага не может проникать в глубину почвенного профиля, пока горизонт А не увлажнится и давление в нем не станет больше, чем в АВ горизонте (> -788 см водн. ст.), чтобы возник соответствующий градиент давления.

Некоторое несоответствие между измеренными и расчетными данными влажности, возможно, вызвано тем, что при моделировании мы не учитывали горизонтальный внутрипочвенный сток на заливочной площадке с небольшим уклоном. Кроме того, не было учтено влияние гистерезиса ОГХ (когда влажность кривой, полученной при иссушении, выше и правее влажности кривой, полученной при увлажнении).



а



б

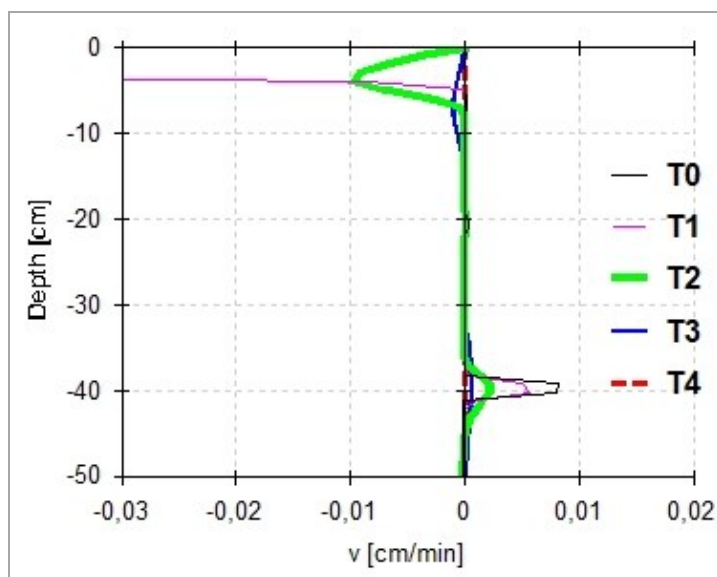
**Рис. 4. Профильное распределение влаги в черноземе выщелоченном яблоневого сада опытной станции «Горно-Алтайское» после дождевания (эквивалентно выпадению 20 мм осадков): измеренные содержания (а) и смоделированные в Hydrus 1D значения (б)**

Через 2 ч после начала эксперимента влага с поверхности начинает более активно проникать в глубину почвенного профиля, тогда как В1к горизонт (с Р=-237 см водн. ст.) постепенно влагу теряет. На этом этапе вычисленные значения лучше совпадают с реальными показателями влажности (темные графики на рисунке 5). Наиболее точно программа воспроизводит реальные значения влажности на этапе через сутки после начала эксперимента (пунктирная линия, Т4).

Можно считать, что физически обоснованная модель движения влаги в почве адаптирована к исследуемым условиям, т.к. дает небольшие отклонения в величинах влажности, по сравнению с экспериментальными значениями. Такая настройка модели по почвенно-мелиоративному эксперименту с соответствующей погрешностью определения влажности дает основание для ее дальнейшего использования в данном агроландшафте для прогнозных расчетов динамики влажности почв в условиях, например, длительного отсутствия осадков.

На рисунке 5 приведен график изменения скорости потоков влаги. Согласно расчетам Hydrus 1D, сразу после дождя скорость нисходящего водного потока достигала 3 мм в минуту, но влага проникла всего лишь на 6 см в глубину первого

почвенного горизонта. Из-за более высокого давления в горизонте В1к (-237 см водн. ст.) в течение всего эксперимента в этой части профиля наблюдается движение влаги вверх – происходит «подпитка» дефицитного по содержанию влаги АВ горизонта со стороны горизонта В1к. Восходящие движения влаги в черноземах выщелоченных в засушливый период особенно выражены в почвах тяжелого гранулометрического состава [9]. Через 10 мин. после дождевания скорость водного нисходящего потока снизилась в верхнем горизонте до 0,098 мм/мин., или 1,4 см/сут. (Т2, толстая светлая линия), но влага «осадков» смогла проникнуть уже на более значительную глубину – до 18 см, с постепенным снижением скорости водного потока на глубине до 0,0014 см/сут. Скорость положительно направленного потока на глубине 40 см через 10 мин. после начала эксперимента достигала 0,015 мм/мин., или 2,16 см/сут. Через 24 ч во всей почвенной толще чернозема выщелоченного содержание влаги выравнивается, движение влаги практически на всей глубине происходит только вверх со скоростью от 0,15 мм/сут. на глубине 20 см до 2,5 мм/сут. в верхних горизонтах.



**Рис. 5. Потоки влаги в верхних (до 50 см) почвенных слоях чернозема выщелоченного под яблоневым садом опытной станции «Горно-Алтайское»**

Настроенную по почвенно-мелиоративному эксперименту модель использовали для прогноза динамики почвенной влаги через 10 сут., в отсутствие дождей (рис. 5, толстая штрихпунктирная линия Т6): согласно расчетам, содержание влаги во всем почвенном профиле будет изменяться от 0,256 до 0,293 см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>, дефицит влаги в верхних горизонтах немного сократится, тогда как горизонты Вк станут дефицитными по уровню увлажненности, из-за формирующихся преимущественно положительных (восхо-

дящих) потоков влаги, которые обеспечивают вертикальную восходящую миграцию водорастворимых солей в черноземах в сухие периоды года. Общий дефицит влаги при 10-дневном отсутствии дождей в 130 см профиле чернозема выщелоченного составит, согласно расчетам, 42 мм.

### Заключение

Изученный нами чернозем выщелоченный под яблоневым садом опытной станции «Горно-

Алтайское» неоднороден по гранулометрическому составу, поэтому его почвенные горизонты при одинаковом влагосодержании будут различаться по степени подвижности в них влаги и доступности ее для растений. Верхние хорошо структурированные горизонты А чернозема обладают большей водоудерживающей способностью, их ОГХ сдвинуты вправо и в целом более выположены. Кривая водоудержания более легкого по гранулометрическому составу В2к горизонта сдвинута в сторону меньшей влажности.

Расчеты показали, что несущественный дефицит влаги в середине июня 2023 г. в черноземе выщелоченном отмечался только в верхних горизонтах (14 мм для 20-сантиметровой толщи). На глубине 40-90 см, где сосредоточена основная масса корней деревьев старше 10 лет, влажность достаточная, влагосодержание изучаемого чернозема под яблоневым садом в жаркий и сухой период в июне 2023 г. можно признать удовлетворительным.

Наилучшим образом программа HYDRUS-1D воспроизводит эксперимент на этапе через сутки после начала эксперимента, когда вычисленные значения влажности во всех горизонтах совпадают с измеренными. Скорость нисходящих водных потоков в черноземе выщелоченном в первые минуты после обильных осадков достигает 3 мм/мин., однако влага не может быстро проникать на всю глубину почвенного профиля: из-за неравномерности профильного распределения гранулометрических элементов в уплотненных и тяжелосуглинистых слоях формируются гидрологические экраны, препятствующие нисходящему стоку, отсутствует должный градиент давления между горизонтами.

Настроенную по почвенно-мелиоративному эксперименту модель движения влаги в черноземе выщелоченном можно использовать для дальнейших прогнозов и расчетов содержания влаги в почве. Так, расчетные профили влажности в черноземе под яблоневым садом опытной станции «Горно-Алтайское» демонстрируют снижение содержания влаги через 10 сут. в отсутствие дождей и формирование преимущественно положительных (восходящих) потоков влаги (особенно в нижней части профиля), с которыми обычно связывают процессы вертикальной восходящей миграции солей в черноземах в сухие периоды года. Расчётный уровень дефицита влаги составляет 42 мм для 130 см толщи через 10 дней в условиях полного отсутствия атмосферных осадков.

#### Библиографический список

1. Глобус, А. М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей / А. М. Глобус. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1978. – 427 с. – Текст: непосредственный.

2. Шейн, Е. В. Курс физики почв / Е. В. Шейн. – Москва: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с. – Текст: непосредственный.

3. Агрохимические методы исследования почв / ответственный редактор А. В. Соколов. – Москва: Наука, 1975. – 655 с. – Текст: непосредственный.

4. Simunek, J., van Genuchten, M., Šejna, M. (2016). Recent Developments and Applications of the HYDRUS Computer Software Packages. *Vadose Zone Journal*. 6. DOI: 10.2136/vzj2016.04.0033.

5. Березин, П. Н. Структура почвы: энергетический подход к количественной оценке / П. Н. Березин, А. Д. Воронин, Е. В. Шейн. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1983. – № 10. – С. 63-69.

6. Гранулометрический состав почв конечноренной гряды Верхневолжского постледникового района (Восточно-Европейская равнина, Тверская область) / Е. В. Шейн, Д. А. Иванов, А. Г. Болотов, А. В. Дембовецкий. – DOI 10.19047/0136-1694-2022-110-5-21. – Текст: непосредственный // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева, 2022. – Вып. 110. – С. 5-21.

7. Шейн, Е. В. Моделирование процесса водопроницаемости черноземов каменной степи / Е. В. Шейн, Д. И. Щеглов, В. В. Москвин. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 2012. – № 6. – С. 648-657.

8. Гефке, И. В. Яблоневый сад: воднопочвенный режим и поливные нормы / И. В. Гефке, С. В. Макарычев. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-217-11-16-22. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 11 (217). – С. 16-22.

9. Сенькова, Л. А. Восходящее движение почвенной влаги при испарении в черноземе выщелоченном / Л. А. Сенькова. – Текст: непосредственный // Аграрный вестник Урала. – 2007. – № 6 (42). – С. 54-55.

#### References

1. Globus, A.M. Pochvenno-gidrofizicheskoe obespechenie agroekologicheskikh matematicheskikh modelei / A.M. Globus. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. – 427 s.

2. Shein, E.V. Kurs fiziki pochv / E.V. Shein. – Moskva: Izd-vo MGU, 2005. – 432 s.

3. Agrokhimicheskie metody issledovaniia pochv. Otv. ped. A.V. Sokolov. – Moskva: Izd-vo «Nauka», 1975. – 655 s.

4. Simunek, J., van Genuchten, M., Šejna, M. (2016). Recent Developments and Applications of the HYDRUS Computer Software Packages. *Vadose Zone Journal*. 6. DOI: 10.2136/vzj2016.04.0033.

5. Berezin, P.N. Struktura pochvy: energeticheskii podkhod k kolichestvennoi otsenke / P.N. Berezin, A.D. Voronin, E.V. Shein // Pochvovedenie. – 1983. – No. 10. – S. 63-69.

6. Shein, E.V. Granulometricheskii sostav pochv konechno-morennoi griady Verkhnevolzhskogo postlednikovogo raiona (Vostochno-Evropaiskaia ravnina, Tverskaia oblast) / E.V. Shein, Ivanov D.A., Bolotov A.G., Dembovetskii A.V. // Biulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva. – 2022. – Vyp. 110. – S. 5-21. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-110-5-21.

7. Shein, E.V. Modelirovanie protsessa vodopronitsaemosti chernozemov kamennoi stepi / E.V. Shein, D.I. Shcheglov, V.V. Moskvina // Pochvovedenie. – 2012. – No. 6. – S. 648-657.

8. Gefke, I.V. Iablonevyy sad: vodno-pochvennyi rezhim i polivnye normy / I.V. Gefke, S.V. Makarychev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – No. 11 (217). – S. 16-22. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-217-11-16-22

9. Senkova L.A. Voskhodiashchee dvizhenie pochvennoi vlagi pri isparenii v chernozeme vyshchelochennom // Agrarnyi vestnik Urala. – 2007. – No. 6 (42). – S. 54-55.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН по проекту FUFZ-2021-0003.*



УДК 631.6.02

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-228-10-51-55

Л.А. Малютина, А.В. Тингаев, А.С. Давыдов

L.A. Malyutina, A.V. Tingaev, A.S. Davydov

## ВЛИЯНИЕ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА НА АГРОФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ БИЕ-ЧУМЫШСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

### INFLUENCE OF POULTRY MANURE ON AGROPHYSICAL CONDITION AND FERTILITY OF THE SOILS OF THE BIYA-CHUMYSH UPLAND

**Ключевые слова:** птичий помет, плодородие, агрохимические свойства почвы, чернозем выщелоченный, плотность сложения, порозность, гумус.

На значительной площади Бие-Чумышской возвышенности Алтайского края в пахотных землях агрохимической службой отмечаются уменьшение мощности гумусового горизонта и их подкисленность, снижение содержания органического вещества, как следствие, происходит уплотнение почвы. В качестве мелиоранта и органического удобрения был использован птичий помет, являющийся отходом птицеводства, объемы которого ежегодно растут. Полевой опыт проведен на территории СПК «Агродар» Зонального района. Птичий помет вносили под посевы яровой мягкой пшеницы по 5, 10, 15, 20 т/га контрольный вариант без внесения помета. Почва участка чернозем выщелоченный среднегумусный маломощный с нейтральной реакцией среды. В пахотном слое почвы преобладают песчано-крупнопылевые фракции. Коэффициент структурности почвы – 54%. В почве высокое содержание подвижного фосфора и обменного калия. Под влиянием птичьего помета реакция почвы стала слабодкислой ( $pH_{\text{сол.}}$  5,1). Содержание органического вещества увеличилось по варианту внесения помета 5 т/га в среднем за 3 года с 4,5 до 4,7%, 10 т/га – до 4,9%, 15 т/га – до 5,3%, 20 т/га – до 5,3%. Валовое содержание азота в почве по вариантам опыта изменялось в пределах 0,3-0,4%. Увеличилось среднее содержание нитратного азота за 3 года, максимальные значения которого наблюдались при внесении 15 т/га (13,8 мг/кг) и 20 т/га (12,9 мг/кг) помета. Запасы общего фосфора увеличились с 0,188% на начало опыта до 0,48-0,54% по вариантам в конце опыта. Содержание подвижного фосфора заметно увеличилось при внесении 15 т/га – до 269,7 мг/кг и 20 т/га – до

290,7 мг/кг. Содержание общего калия изменилось несущественно – с 2,3% на начало опыта до 2,72-2,82% на конец опыта по вариантам. Содержание подвижного калия в среднем по вариантам опыта с внесением помета увеличилось на 30-86,3 мг/кг.

**Keywords:** poultry manure, fertility, soil agrochemical properties, leached chernozem, bulk density, porosity, humus.

On a significant area of the Biya-Chumysh Upland of the Altai Region, in arable lands, the agrochemical service points out decreasing thickness of the humus horizon and land acidification, decreasing organic matter content and, consequently, soil compaction occurs. Poultry manure was used as an ameliorant and organic fertilizer. It is a waste of poultry farming, and its volumes are growing every year. The field experiment was conducted on the farm of the SPK "Agrodar", Zonalniy District of the Altai Region. Poultry manure was applied under spring soft wheat crops at the rates of 5, 10, 15, 20 t ha; the control variant was without any manure. The site consisted of leached medium-humus thin chernozem with neutral pH. Sand and coarse-silt fractions prevailed in the arable soil layer. The soil structure index made 54%. The soil had high content levels of mobile phosphorus and exchange potassium. Under the influence of poultry manure, the pH became slightly acid. Depending on poultry manure application rates, organic matter content (three-year average) increased as following: application rate of 5 t ha - from 4.5% to 4.7%; 10 t ha - to 4.9%; 15 t ha - to 5.3%; 20 t ha - to 5.3%. The gross nitrogen content in the soil in the experimental variants varied in the range of 0.3-0.4%. Over three years, the content of nitrate nitrogen increased; its maximum values were observed at the application rates of 15 t ha (13.8 mg kg) and 20 t ha (12.9 mg kg). Total phosphorus storage increased from 0.188% at the be-